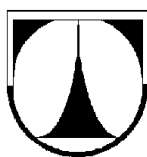


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2008

Štěpán Pírko

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: M 2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3902T005 – Automatické řízení a inženýrská informatika

Zařízení na měření povrchu brzdových kotoučů

Equipment for the measurement of disc brake surfaces

Diplomová práce

Autor:

Štěpán Pírko

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Konzultant:

Ing. Petr Novák

V Liberci 16.5.2008

zadání

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci 16. května 2008

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi, Ing. Petru Novákovi a kolektivu z firmy Lucas Autobrzdý, s.r.o. Jablonec nad Nisou za technickou pomoc a poskytnuté zázemí. Dále děkuji Ing. Martinu Rozkovcovi za čas strávený při diskuzích nad touto diplomovou prací. Můj dík patří také celé mé rodině, která mě podporovala při studiu.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací zařízení na měření povrchu brzdových kotoučů. V první části práce jsou popsány základní typy senzorů na měření vzdálenosti a úhlového natočení, které bylo možno využít při realizaci. Následuje popis v současnosti používaného zařízení s výčtem jeho kladů a nedostatků. Na základě těchto poznatků je navrženo koncepční řešení opravující nedostatky původní metody. Po popisu komponent zvolených pro realizaci je popsán ovládací program a provedeno ověření přesnosti lineárního pohonu.

Klíčová slova : měření, brzdový kotouč, povrch, senzor vzdálenosti, lineární pohon

Abstract

This thesis deals with a proposition and realisation of a system for disc brake surfaces measurement. In the first part of the thesis, standard types of possible sensors for distance and angular rotation measurement are described. Description of presently used system and its advantages and disadvantages follows. Based on those findings, a conceptual solution for the improvement of previous limitations is proposed. Following to the description of the components selected for the realisation of the measurement system, control software system is described. Finally, the accuracy of linear drive is verified.

Keywords : measurement, brake disc, surface, distance sensor, linear slider

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
1 ÚVOD.....	9
2 KOTOUČOVÉ BRZDY.....	10
3 SENZORY NA MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI.....	11
3.1 Indukčnostní senzory vzdálenosti.....	11
3.1.1 Indukčnostní senzory na principu vířivých proudů.....	11
3.1.2 Nejrozšířenější typy senzorů s vířivými proudy.....	12
3.2 Optické senzory vzdálenosti.....	13
3.2.1 Polohově citlivé senzory.....	13
3.2.2 Optoelektronické senzory polohy s triangulací.....	14
3.2.3 Optoelektronické senzory polohy na interferometrickém principu.....	15
3.3 Kapacitní senzory vzdálenosti.....	16
3.4 Odporové senzory vzdálenosti.....	17
4 SENZORY NATOČENÍ.....	19
4.1 Odporové senzory natočení.....	19
4.2 Indukčnostní senzory natočení.....	19
4.3 Optické senzory natočení.....	20
5 SÉRIOVÉ ROZHRANÍ RS-232.....	21
6 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW.....	22
7 POPIS V SOUČASNOSTI POUŽÍVANÉHO ZAŘÍZENÍ.....	23
7.1 Ukázka naměřených dat.....	23
7.2 Rozbor kladů a nedostatků tohoto řešení.....	24
8 ZÁKLADNÍ KONCEPCE NOVÉHO ŘEŠENÍ.....	25
8.1 Metodika měření.....	25
8.2 Model návrhu.....	25
9 KOMPONENTY ZVOLENÉ PRO REALIZACI.....	27
9.1 Senzor vzdálenosti – optoNCDT 1800-10.....	27
9.1.1 Popis senzoru a řídicí jednotky.....	27
9.1.2 Technické údaje senzoru optoNCDT-1800-10.	28
9.1.3 Rozměry senzoru.....	28
9.2 Lineární pohon T-LSR150D.....	29

9.2.1 Popis lineárního pohonu	29
9.2.2 Ovládání pohonu	29
9.2.3 Technické údaje lineárního pohonu.....	30
9.2.4 Rozměry pohonu.....	31
9.3 Senzor natočení 2REB	31
9.4 Měřicí karta.....	32
10 SOFTWAREVÁ ČÁST.....	33
10.1 Ovládací program.....	33
10.1.1 Popis předního panelu.....	33
10.1.2 Obsluha programu.....	34
10.1.3 Popis blokového diagramu – ovládací část.....	34
10.1.4 Popis blokového diagramu – část pro sběr dat.....	36
10.2 Měření přesnosti polohování lineárního pohonu.....	36
10.2.1 Mrtvý chod.....	38
10.2.2 Linearita.....	39
11 ZÁVĚR.....	41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	42
OBSAH PŘÍLOŽENÉHO CD.....	43
PŘÍLOHY.....	44

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PSD	-	Position Sensitive photo – Detectors, polohově citlivý fotodetektor
CCD	-	Charge – Coupled Device, prvek s nábojovou vazbou
ADC	-	Analog – Digital Converter, analogově digitální převodník
I/O	-	Input / Output, vstup/ výstup
AI	-	Analog Input, analogový vstup
NI	-	National Instruments
PGIA	-	Programable Gain Instrumentation Amplifier, programovatelný přístrojový zesilovač
FIFO	-	Firs In First Out, paměť typu první dovnitř první ven

1 ÚVOD

V době rychle se zdokonalujících technologií je kladen stále větší důraz na přesnost a rychlost měření. Metody, které se používaly před deseti lety, jsou dnes již zastaralé a mnohdy i nedostačující.

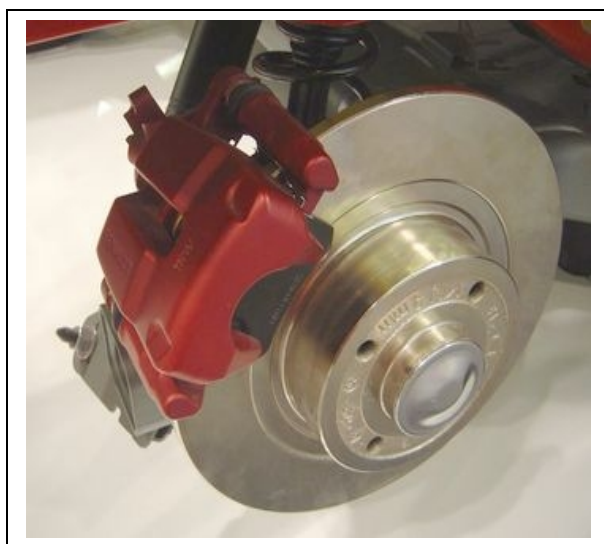
Tato práce se zabývá zdokonalením a zpřesněním měření povrchu brzdových kotoučů. Postupuje směrem od vyjmenování nedostatků současné metody k výběru modernějších a přesnějších senzorů a polohovacích zařízení, ale také k uživatelsky přívětivější obsluze a automatizaci měření.

Cílem práce je navrhnout a sestavit plně automatizovaný měřicí systém, který bezesbytku vyhoví požadavkům firmy Lucas Autobrzd a umožní přesnější měření povrchu brzdových kotoučů.

2 KOTOUČOVÉ BRZDY

V běžných autech se používají kovové brzdové kotouče. Kotouč je nasunut a zajištěn na hřídeli a k němu je přišroubováno kolo. Při brždění se kinetická energie vozidla mění na teplo a kotouč se výrazně zahřívá. Protože jsou přední brzdy namáhány více, jsou jejich kotouče větší a mají uvnitř soustavu kanálků, což zlepšuje jejich chlazení. Provozem se kotouče posupně deformují a opotřebovávají.

Kotoučové brzdy se skládají se z těchto hlavních částí : brzdový kotouč, brzdový třmen, brzdový píst a brzdové destičky viz. obr. 2.1. Při sešlápnutí brzdového pedálu se zvýší tlak v brzdové soustavě. Brzdová kapalina přenesení tlak na brzdový píst, který přitlačí brzdové destičky kolmo na kotouč. Vzniklá třecí síla mezi destičkami a kotoučem působí proti směru otáčení kotouče.



Obr. 2.1 Brzdový kotouč se třmenem

Brzdový třmen je část pevně připojená k vozidlu. Je v něm uchycen brzdový píst, který při brždění tlačí na brzdové destičky. Brzdové destičky jsou konstruovány tak, aby měly co největší koeficient smykového tření. [3]

3 SENZORY NA MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI

Typ použitého senzoru výrazně ovlivní výslednou podobu měřených dat, zejména z hlediska hustoty a přesnosti měření. V následující části jsou popsány vlastnosti základních typů senzorů na měření vzdálenosti..

3.1 Indukčnostní senzory vzdálenosti

Tyto senzory měří pozici nebo posun elektricky vodivého objektu a lze jimi měřit feromagnetické, i neferomagnetické objekty. Indukčnostní senzory jsou pasivní a měřená veličina je převáděna na změnu indukčnosti nebo vzájemné indukčnosti.

Indukčnostní senzory dosahují vysokého rozlišení a přesnosti, jsou bezdotykové a proto i bez opotřebení, nejsou náchylné ke znečištění a díky vysoké napájecí frekvenci jsou vhodné pro rychlé aplikace. [6]

3.1.1 Indukčnostní senzory na principu vířivých proudů

Funkce těchto senzorů vychází z Lenzova zákona. Cívka vytváří střídavé magnetické pole $H(j\omega)$, které vyvolá v měřeném materiálu sekundární magnetické pole $H_v(j\omega)$ působící proti poli, které jej vyvolalo. To má za následek pokles intenzity původního pole (pokles magnetického toku Φ cívkou). Protože takto dojde ke zvýšení ztrát, je nutno dodat energii spotřebovanou na ohřev vodivého objektu.

Měřená část se chová jako sekundární cívka s odporem R_z a indukčností L_z a je vázána vzájemnou budící indukčností M . Pak obdobně jako u transformátorových obvodů lze převést sekundární impedance na ekvivalentní, působící v primáru.

Důležitým pojmem v oblasti vířivých proudů je „hloubka vniku“. Je to vzdálenost od povrchu vodivého materiálu, ve které se dopadající elektromagnetická vlna utlumí na 95% intenzity na povrchu. Při vysokých hustotách vířivých proudů je hloubka vniku h_v malá a platí vztah

$$h_v = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho}{\omega \cdot \mu}} \quad (3.1)$$

ω ... kruhový kmitočet proudu v cívkě

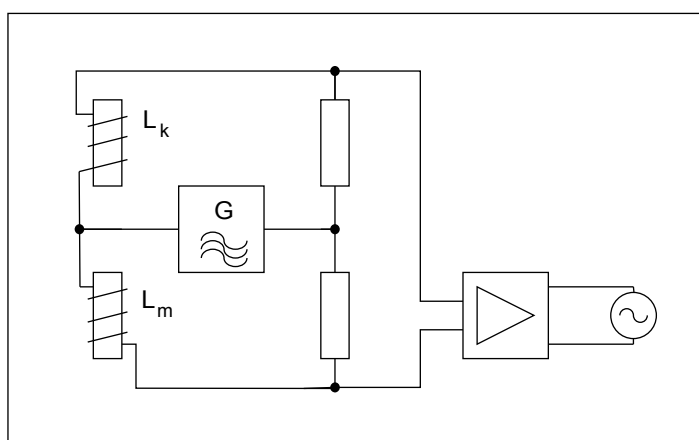
ρ ... magnetický odpor materiálu

μ ... permeabilita materiálu [1]

3.1.2 Nejrozšířenější typy senzorů s vířivými proudy

Senzor s můstkovým měřicím obvodem

Tento senzor patří mezi nejrozšířenější. Využívá kompenzačního senzoru L_k v můstkovém obvodu, který není ovlivňován měřeným objektem. Ten se chová jako aktivní snímač L_m bez přítomnosti měřeného objektu. Schéma zapojení je na obr. 3.1



obr. 3.1 senzor s můstkovým měřicím obvodem

Senzor s rezonančními obvody

Tyto senzory dosahují větší citlivosti, čehož je docíleno přidáním kondenzátoru. Potom je možné měřit změnu frekvence oscilátoru, nebo změnu činitele jakosti Q , což je reálná část impedance. Při určitém nastavení je možné docílit výpadku oscilací. V těchto případech se senzor dá použít jako koncový spínač.

Senzory s měřením fázové charakteristiky

Dalšího zpřesnění měření lze dosáhnout použitím obvodů využívajících měření fázové charakteristiky LC obvodu, kterým je měřen rozdíl fáze mezi budícím napětím a napětím na rezonančním obvodu.

Indukčnostní senzory s posuvným zkratem

Tyto senzory opět využívají zeslabení magnetického pole vířivými proudy. Obvod je postaven na transformátoru z E plechů, na jehož středním sloupku je navlečen měděný zkratovací kroužek. Magnetické pole budící cívky v něm indukuje vířivé proudy. Jejich magnetické pole má opačný směr než pole původní a odčítá se. Z toho vyplývá, že za prstencem je magnetický tok nulový. Při posuvu kroužku směrem k vinutí budící cívky tedy klesá její indukčnost. [1]

3.2 Optické senzory vzdálenosti

K měření vzdálenosti lze využít jakoukoli veličinu ovlivněnou vzájemnou polohou měřeného povrchu, detektoru a zdroje optického záření. Tyto senzory mohou pracovat na různých principech. Změna polohy světelného zdroje, mění se úhel odraženého paprsku, interference zdrojových paprsků s odraženými. Měří s velkým odstupem a malým průměrem měřicího bodu. Jako snímací modul se používá analogový modul PSD, nebo digitální řádka CCD.

Optické senzory mají velký měřicí rozsah, lze jimi měřit z větší vzdálenosti, mají vysoké rozlišení a vynikající přesnost, dosahují vysokých vzorkovacích frekvencí a neovlivňuje je cizí světlo. [6]

3.2.1 Polohově citlivé senzory

Používají se v případech, kdy poloha světelné stopy závisí na měřené veličině. Při dopadu světelné stopy na čelní plochu velkoplošné PIN fotodiody vznikne díra v intrinsické vrstvě a je generován pár elektron – díra. Tím vznikne elektrické pole na přechodech PI a NI, které vyvolá posuv děr k vrstvě P a elektronů k vrstvě N. Páry nábojů, generované dopadajícím světelným paprskem, představují v tomto místě zdroj proudu o intenzitě I_0 . V případě, že je rozložení odporu vrstvy P rovnoměrné, platí pro proudy I_A a I_B v jednotlivých elektrodách tyto vztahy.

$$I_A = I_0 \cdot \frac{R_L - R_x}{R_L} \qquad I_B = I_0 \cdot \frac{R_x}{R_L} \qquad (3.2)$$

po vydělení obou vztahů proudem I_0 dostaneme :

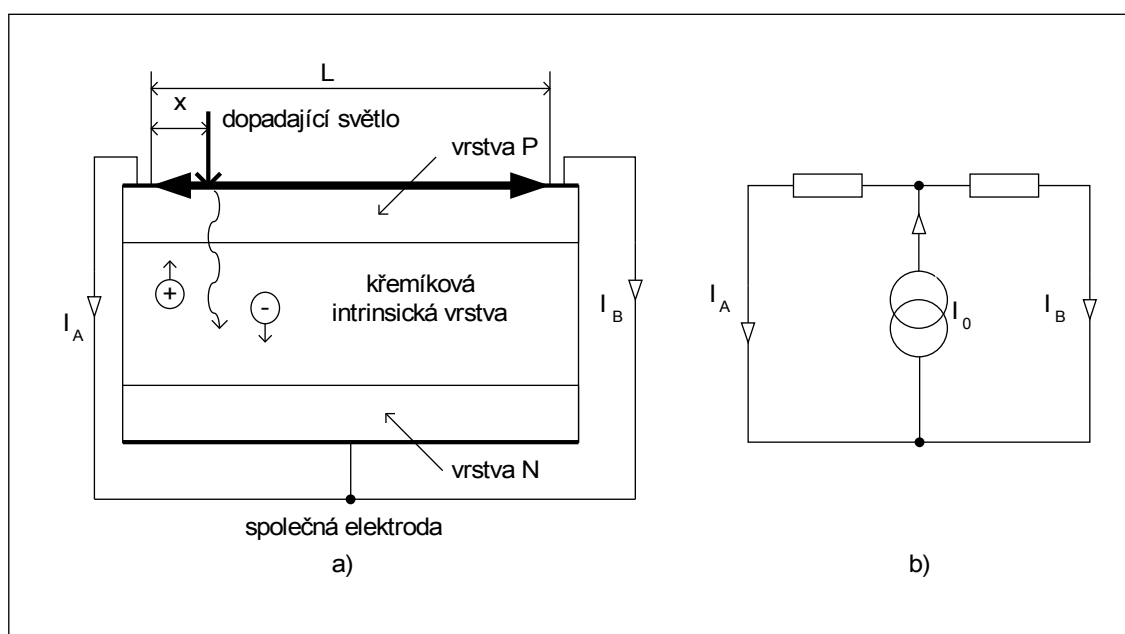
$$\frac{I_A}{I_0} = \frac{R_L - R_x}{R_L} = \frac{L - x}{L} \qquad \frac{I_B}{I_0} = \frac{R_x}{R_L} = \frac{x}{L}$$

po odečtení pravých a levých stran dostaneme

$$\frac{I_A}{I_0} - \frac{I_B}{I_0} = \frac{L - x}{L} - \frac{x}{L}$$

$$\frac{I_A - I_B}{I_0} = 1 - \frac{2x}{L} \qquad (3.3)$$

předpokládáme, že změna intenzity světelné stopy a proudů I_0 , I_A a I_B bude ve stejném poměru. Vše je znázorněno na obr. 3.2.

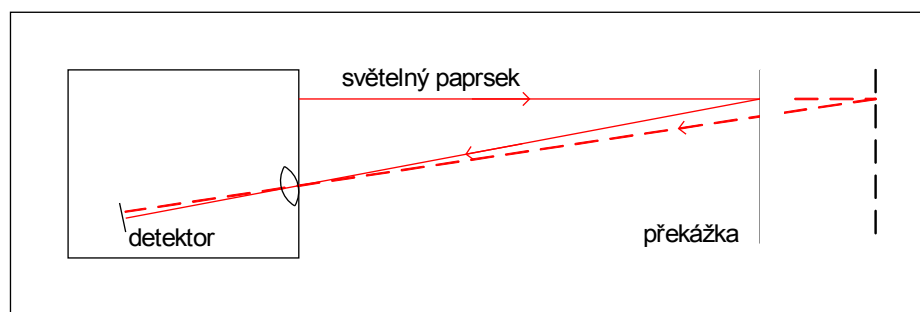


Obr. 3.2 Princip polohově citlivého senzoru

3.2.2 Optoelektronické senzory polohy s triangulací

Tyto senzory počítají vzdálenost z polohy odraženého paprsku, jehož vlnová délka je 850 nm a je modulován kmitočtem 16 kHz. Zdrojem je infračervená dioda. Odražený paprsek dopadá na řádkový senzor CCD nebo senzor typu PSD. Modulovaný signál zesílený střídavým zesilovačem je vyhodnocen synchronní detekcí. Díky tomu je možné měřit vzdálenosti předmětů s malou odrazivostí, nikoli však s nulovou. Mezi další

výhody modulovaného paprsku patří potlačení vlivu okolního světla a driftu detektoru. Obvykle lze měřit vzdálenosti od 1 mm do 1 m. Rozlišovací schopnost odpovídá 16-ti bitům. Na obrázku 3.3 je znázorněn princip funkce senzoru.

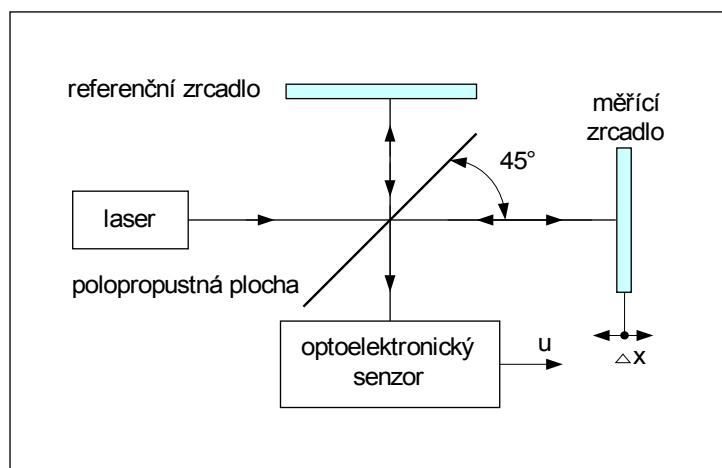


Obr. 3.3 Princip triangulace světla

Senzor má danou referenční vzdálenost, která je středem měřicího rozsahu.

3.2.3 Optoelektronické senzory polohy na interferometrickém principu

Využívají skládání světelných vln – interference. Základní uspořádání senzorů je podobné Michelsonovu interferometru, viz. obr. 3.4. Měřicí soustava se skládá ze zdroje koherentního záření, polopropustného zrcadla, referenčního a měřicího zrcadla a fotocitlivého prvku. Zdroj koherentního záření, např. laser, je namířen na polopropustné zrcadlo, která je natočeno o 45° . Tady se paprsek rozdělí na dvě části. Jedna dopadá na měřený objekt kde se odráží od měřicího zrcadla a vrací zpět na polopropustné zrcadlo. Tady se vektorově sečte s paprskem odraženým od referenčního zrcadla a výsledná intenzita osvětlení je měřena fotocitlivým prvkem. [1]



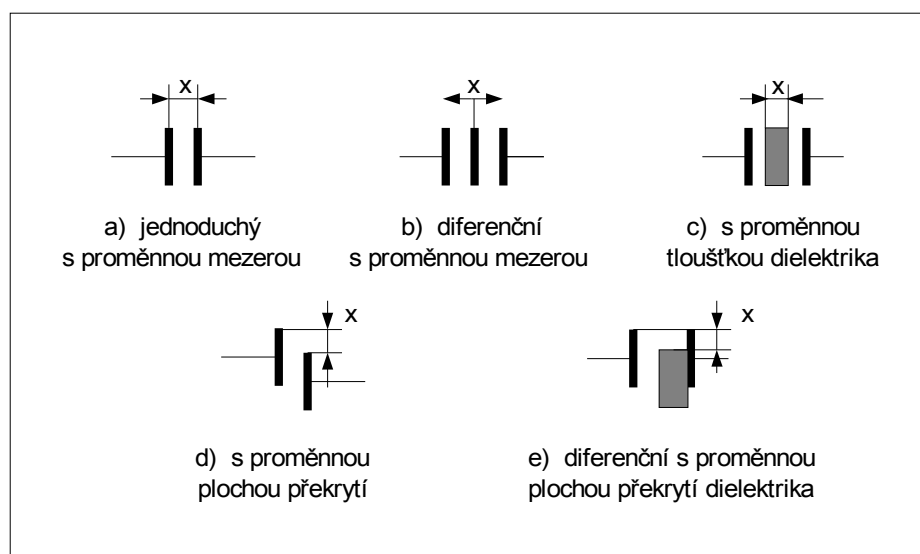
Obr. 3.4 Michelsonův interferometr

3.3 Kapacitní senzory vzdálenosti

Jsou vhodné pro měření veličin ovlivňujících kapacitu kondenzátoru. Tj. plochy elektrody S , jejich vzdálenosti d a permitivitu ε . Je zřejmé, že tyto senzory lze použít i pro měření plochy, v našem případě však zůstane pouze u měření vzdálenosti. Základní vztah pro tyto senzory je stejný jako pro deskový kondenzátor.

$$C(x) = \varepsilon \cdot \frac{S}{d(x)} \quad (3.4)$$

Tento vztah se v závislosti na konkrétním typu senzoru adekvátně upravuje.



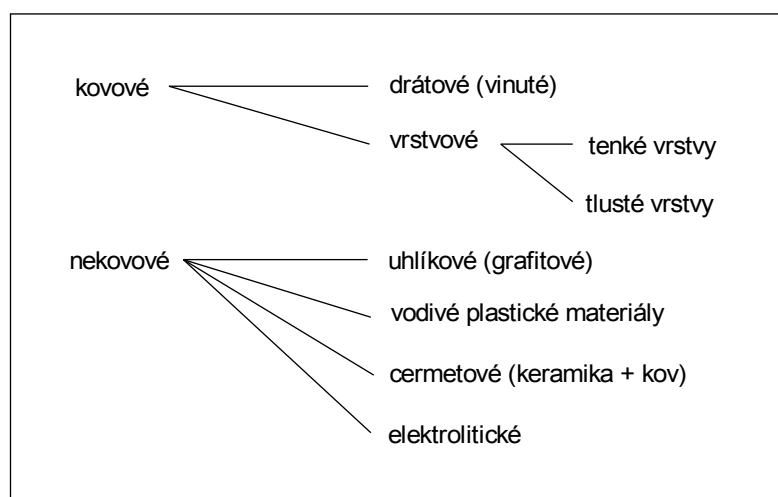
Obr. 3.5 – Typy kapacitních senzorů

Kapacitní senzory mají velmi vysokou rychlost a rozlišení, vysokou teplotní a dlouhodobou stabilitu, jsou nezávislé na typu kovového materiálu měřeného povrchu a jsou vhodné i pro izolanty.

Na obr. 3.5 jsou naznačeny způsoby změny kapacity některých typů kapacitních senzorů. [1]

3.4 Odporové senzory vzdálenosti

Podstatou těchto senzorů je dělič napětí, jehož pohyblivý kontakt se mechanicky dotýká měřeného objektu. Pro vytvoření odporové dráhy lze využít poměrně široké spektrum materiálů. Mohou být kovové (drátové – vinuté, vrstevné), nebo nekovové (uhlíkové, z vodivých plastů, cermetové nebo elektrolytické). Rozdělení znázorňuje obr. 3.6.



Obr. 3.6 Druhy odporových potenciometrů

Nejlepší rozlišovací schopnost dosahují senzory s odporovým drátem nebo odporovou vrstvou. Senzory s odporovým drátem se vyznačují malým odporem. Jednou z možností řešení je přidání sériového odporu, který sníží protékající proud. Běžnější řešení je navinout odporový drát na tělísko z izolantu s hustotou až 40 závitů/mm. Rozlišovací schopnost je potom dána změnou odporu mezi jednotlivými závity. U vrstevných potenciometrů byla měřením zjištěna rozlišitelnost typicky 0,1 % napájecího napětí.

Linearita závisí na rovnoměrnosti rozložení odporové vrstvy nebo vinutí. Chyby nelinearitou se potom pohybují v rozmezí 0,05 až 0,1 %. Linearitu je možné vylepšit připojením paralelních nebo i sériových odporů na odbočky vyvedené na vinutí.

Šum potenciometrů je dán jejich konstrukcí. Může to být způsobeno odskakováním jezdce při pohybu nebo vlivem nečistot ovlivňujících kvalitu kontaktu jezdce s odporovou dráhou. [1]

4 SENZORY NATOČENÍ

Požívají se v situacích, kdy je třeba znát aktuální úhel natočení. Výstupem bývá binární kód, obdélníkový průběh, napětí nebo fázově posunutá napětí. Existují typy odporové, indučnostní a optické.

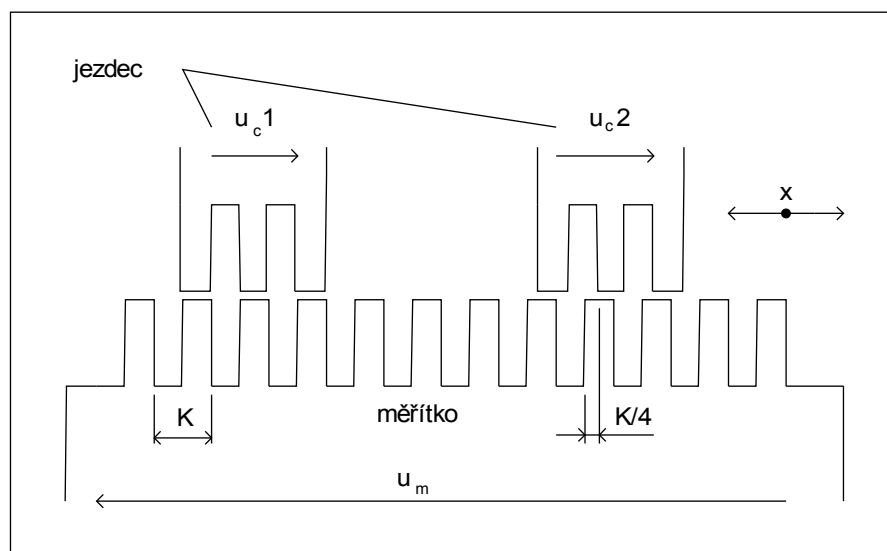
4.1 Odporové senzory natočení

Pracují na stejném principu jako odporové senzory vzdálenosti. S tím souvisí i podobné vlastnosti. Konstrukce se sestává z kotoučku s odporovou dráhou a v závislosti na úhlu natočení se po ní pohybuje jezdec. Svými parametry se neliší od senzorů vzdálenosti, pouze při větších průměrech dosahují menší nelinearity. A to až 0,002 % maximální výchylky. [1]

4.2 Indukčnostní senzory natočení

Induktosyn

Dle konstrukce může být buď lineární nebo rotační. Jak ukazuje obr. 3.1 je tvořen jezdcem s dvěma cívkami pohybujícími se nad měřítkem. Cívky jezdce i měřítka jsou vytvořeny metodou plošných spojů a mají stejný tvar. Cívky v jezdci jsou napájeny střídavým napětím s fázovým posunem 90° . Během posuvu jezdce se mění vzájemná indukčnost M . Při úplném překrytí je maximální, při posuvu o $\pi/4$ je nulová. V úseku K se mění nezávisle na kmitočtu a amplitudě fázový úhel φ , který je snadno měřitelný číslíkovými metodami. Je vhodné budít cívky jezdce vnuceným proudem trojúhelníkového průběhu. Indukované napětí je potom obdélníkové. Při měření posuvu většího než K se v čítači zaznamenává počet překročení úhlu 2π a poloha uvnitř kroku. Máme tedy dvě stupnice, hrubou a jemnou.



Obr. 4.1 Princip inдуктосыну

Různými úpravami napájení je možné zařízení upravit dle konkrétních potřeb. Při měření úhlového natočení dosahuje přesnosti $0,0005^\circ$.

Selsyn

Podobně jako asynchronní stroje je složen ze statorových a rotorových vinutí. Nejčastěji se používají jako polohové transformátory. Magnetické pole rotoru indukuje ve statorových vinutích tři složky napětí a ty jsou závislé na úhlu natočení rotoru. [1]

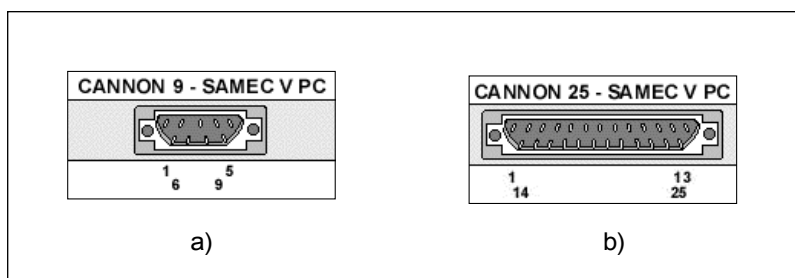
4.3 Optické senzory natočení

Jsou tvořeny kotoučkem se stopou, kde se střídají průhledná a neprůhledná místa. Ten při otáčení střídavě přerušuje světelný tok mezi vysílačem a přijímačem. Zvýšení rozlišitelnosti se dosahuje dalším přidáváním stop. Následně v závislosti na způsobu uspořádání lze získat výstup například v Grayově kódu. Potom senzor funguje jako převodník poloha – číslo a ihned po zapnutí zná aktuální úhel natočení. Je zřejmé, že takovéto provedení potřebuje počet vodičů stejný jako počet stop.

Další možností jsou inkrementální rotační čidla, kde má výstupní signál A formu obdélníkového signálu. Měřicí systém počítá impulsy a podle jemnosti kroku ukazuje úhel natočení. V případě, že potřebujeme znát i směr otáčení je k dispozici obdélníkový signál B, který je posunutý o $\frac{1}{4}$ periody. Signál Z indikuje dokončení otočky. [1]

5 SÉRIOVÉ ROZHRANÍ RS-232

RS-232 je rozhraní pro sériový přenos informací vytvořené původně pro komunikaci dvou zařízení do vzdálenosti 20 m. Pro větší odolnost proti rušení je informace po propojovacích vodičích přenášena větším napětím než je standardních 5 V. Dnešní počítače mají většinou jeden sériový port a ten je vyveden pomocí 9 pólového konektoru na obr. 5.1 a). U starších počítačů se používal ještě konektor 25 - pólový, viz obr. 5.1 b).



Obr. 5.1 Konektory sériového portu

Zařízení, která komunikují pomocí sériového portu, nemusí vždy používat všech 9 signálů. V praxi se nejčastěji používá třídrátové, pětidrátové a sedmidrátové propojení kabelu. RS-232 používá dvě napěťové úrovně. Log. 0 je signalizována kladnou a log. 1 zápornou úrovní výstupního napětí.

Standard RS-232 uvádí jako maximální možnou délku vodičů 15 m nebo délku vodičů o kapacitě 2500 pF. Použitím kvalitních vodičů by se dala prodloužit vzdálenost až na 50 m. Kabel lze také prodloužit snižováním přenosové rychlosti. Přenosová rychlost může dosáhnout až 115200 baudů (bitů) za sekundu. Přenosový rámec se skládá z jednoho start-bitu, dále následuje 7-8 bitů dat a ukončovací stop-bit (mohou být i dva). Sériový port má na svém výstupu ochranný odpor, proto z něho můžeme odebírat maximálně proud 10 mA.[4]

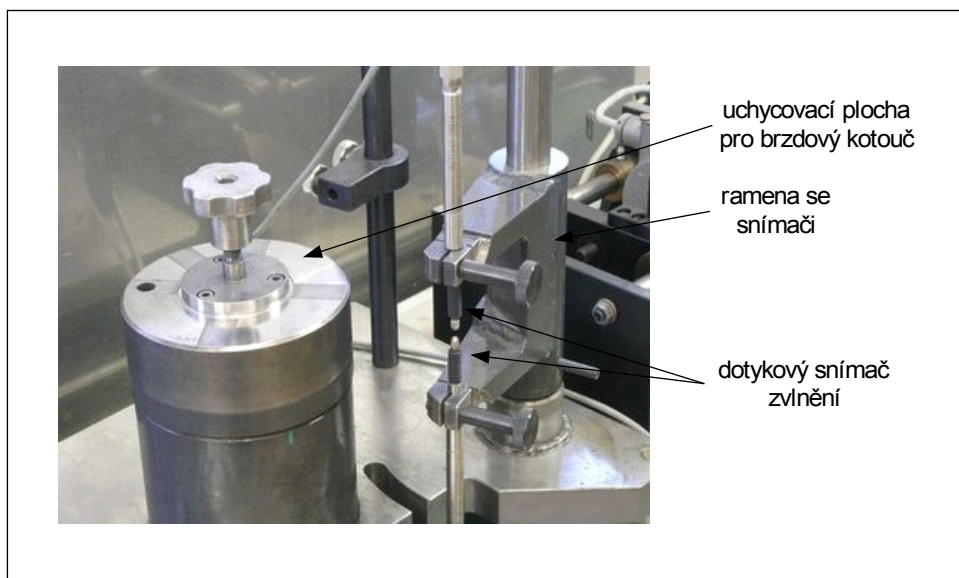
6 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW

LabView je moderní grafické vývojové prostředí, zaměřené na tvorbu aplikací v oblasti měření a řízení. Samozřejmostí jsou nástroje pro sběr, analýzu a zobrazení naměřených dat. Aby bylo možno naplno využít potenciál tohoto programu, nechybí podpora všech standardních komunikačních rozhraní jako jsou RS-232, RS-485 nebo GPIB pro sběr dat ze zařízení mimo počítač, zásuvných měřících karet a systémů na bázi VXI, PXI/CompactPCI, CAMAC. Dále je tu možnost komunikace s ostatními aplikacemi pomocí protokolů TCP/IP, UDP atd. a využívání komponent ActiveX, VISA a DDE nebo vytváření DLL knihoven. Díky těmto vlastnostem je LabView plnohodnotný programovací jazyk schopný nabídnout všechny potřebné funkce a datové struktury v grafické podobě.

Uživatel vytváří virtuální stroj (Virtual Instrument - VI), který se chová podobně jako reálné měřicí zařízení. Takovýto „stroj“ potom zastupuje skutečnou část měřicího nebo řídicího řetězce, nebo i celý systém.

Tvorba nového projektu probíhá ve dvou oknech. Ve Front Panelu se formuje konečný vzhled programu a v Block Diagramu se tvoří vlastní program. Velká výhoda tohoto prostředí spočívá ve značné intuitivnosti ovládání a tvorby programu.

7 POPIS V SOUČASNOSTI POUŽÍVANÉHO ZAŘÍZENÍ



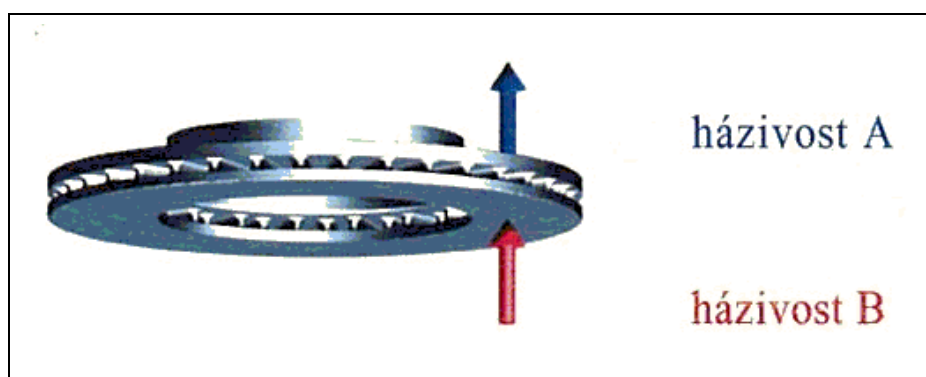
Obr. 7.1 Původní zařízení na měření povrchu brzdových kotoučů

Na ocelové desce je připevněn přípravek na uchycení brzdového kotouče. Jeho horní část je otočná. V pravé části obrázku je vidět sloupek s otočnými a výškově stavitelnými rameny, ve kterých jsou uchyceny indukčnostní dotykové senzory vzdálenosti. Před začátkem měření se pomocí podložek nastaví výška ramen tak, aby vyhovovala danému kotouči. V průběhu měření se kotouč otáčí a rameno se senzory se pohybuje po kružnici směrem ke středu kotouče.

7.1 Ukázka naměřených dat

V příloze A je ukázka naměřených dat původní metodou. Házivosti A a B jsou měřeny každá z jedné strany kotouče. Kladná orientace výchylky je směrem nahoru. Tedy na spodní straně směrem do kotouče a na horní straně směrem od kotouče. Viz obr. 7.2. Změna tloušťky kotouče se vypočítá dle vzorce.

$$\text{rozdíl} = \text{házivostA} - \text{házivostB} \quad (7.1)$$



Obr. 7.2 Směr výchylky měření

7.2 Rozbor kladů a nedostatků tohoto řešení

Nedostatky

- manuální natáčení kotouče vyžaduje trvalou obsluhu
- stejný problém vyvstává i při pohybu s ramenem s dotykovými senzory a s tím je spojena i nutnost natáčení souřadného systému, což je důsledkem způsobu uchycení
- dotykové senzory jsou mechanicky namáhány a dochází k opotřebení, při rychlejších pohybech může dojít k odskakování. Oproti současným požadavkům mají nedostačující přesnost a velkou velikost snímaného bodu.
- měření na třech poloměrech
- v dnešní době nevyhovující náročnost na obsluhu

Klady

- jednoduchost konstrukce
- nízká pořizovací cena

8 ZÁKLADNÍ KONCEPCE NOVÉHO ŘEŠENÍ

Jako první krok bylo nutno definovat požadavky na přesnost nové metody. Z této debaty vznikly následující požadavky.

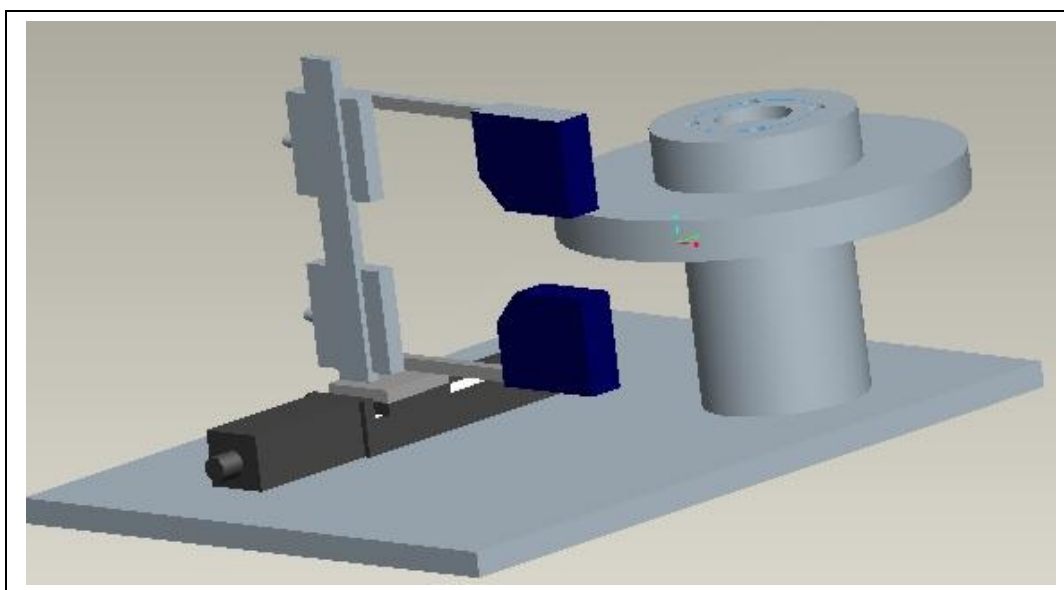
- změna poloměru po 0,1 mm
- úhel natočení po 0,1°
- zvlnění povrchu měřit s přesností 1 μm
- použít bezdotykovou metodu měření vzdálenosti.
- možnost měřit kotouče o průměru 200 – 320 mm a tloušťky až 8 – 30 mm
- z důvodu snadného zpracování musí být naměřená data ve formátu soustředných kružnic, kde každá kružnice má začátek ve stejném úhlu natočení.

8.1 Metodika měření

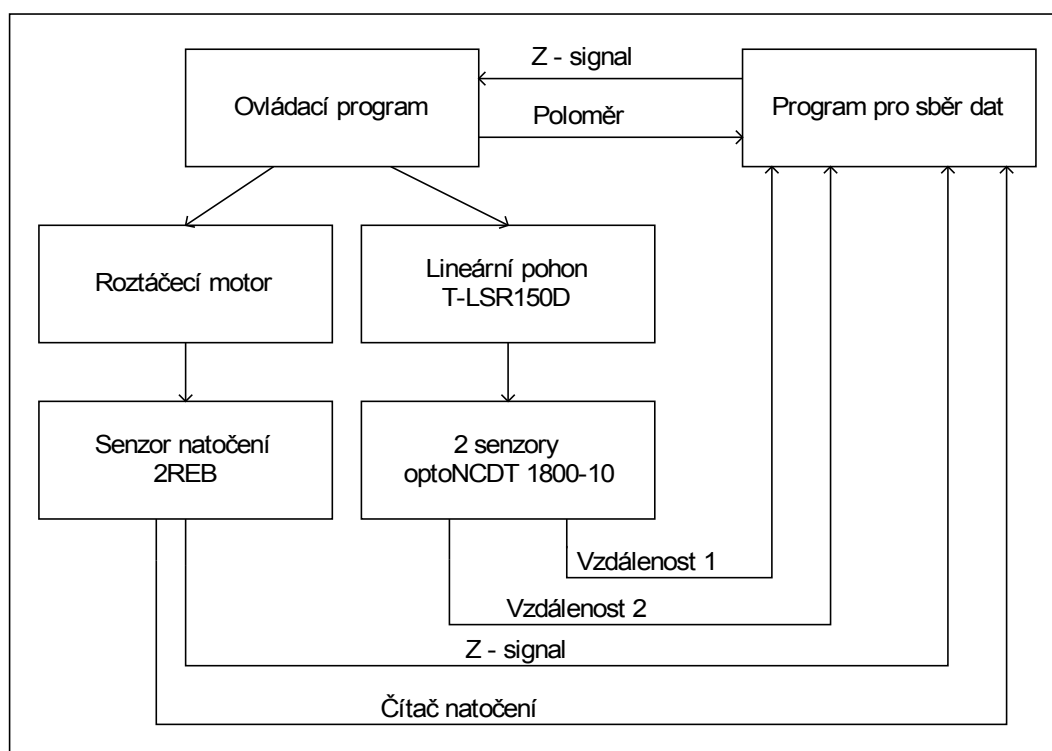
Nejprve se uchytí kotouč a nastaví výška a rozchod ramen se senzory vzdálenosti. Po zapnutí a ustálení systému se začne měřit první poloměr. Během následující otočky se měřit nebude, pouze senzory se posunou na další poloměr. To znamená, že systém bude měřit každou lichou otočku a každou sudou posouvat senzory. V závislosti na čase se budou se stejnou vzorkovací frekvencí snímat signály ze senzorů vzdálenosti a signál ze senzoru natočení. Tak bude ke každému místu povrchu kotouče získána hodnota zvlnění, úhel natočení a od lineárního pohonu poloměr měření.

8.2 Model návrhu

Na základní rovině je válec s otočnou vrchní částí, ke které se připevňují měřené kotouče. Je předpoklad, že otočná část bude poháněna elektrickým motorem s regulací otáček. Vedle uchycení kotouče je umístěn lineární pohon, který zajišťuje pohyb senzorů směrem ke středu kotouče a zpět do základní polohy. K montážní ploše lineárního pohonu je připevněna vodící kolejnice, na kterou jsou pohyblivě uchyceny dva lineární posuvy. S jejich pomocí se nastaví výška a rozestup senzorů odpovídající danému kotouči. Na obrázku 7.1 je výsledný návrh řešení. Blokové schéma soustavy s vyznačeným tokem informací je na obrázku 7.2.



Obr. 8.1 Výsledný návrh řešení



Obr. 8.2 Blokové schéma měřicí soustavy

9 KOMPONENTY ZVOLENÉ PRO REALIZACI

9.1 Senzor vzdálenosti – optoNCDT 1800-10

Z důvodu docílení co nejvyšší přesnosti měření byl zvolen optický senzor optoNCDT 1800-10 od firmy MICRO-EPSILON. Jeho předností je malá velikost snímaného bodu a dostatečná přesnost. U tohoto modelu je to v závislosti na vzdálenosti měřeného objektu 70 μm na začátku rozsahu a 620 μm na konci rozsahu. To je o několik řádů méně než u kapacitních nebo indukčních senzorů.

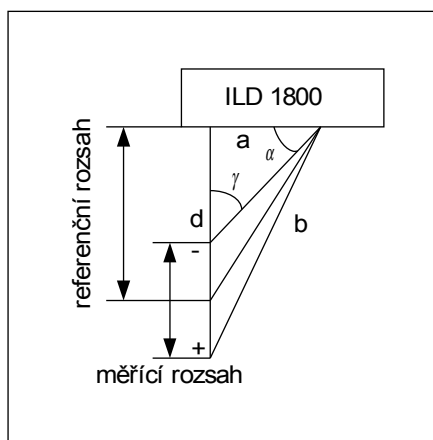
9.1.1 Popis senzoru a řídicí jednotky

Systém opto 1800 je sestaven ze dvou částí – laserový optický senzor a elektronika pro úpravu signálu. Senzor pracuje na principu optické triangulace, viz obr. 9.1. To znamená, že na cílový povrch je promítán viditelný modulovaný paprsek. Ten se odrazí od měřeného povrchu a pod úhlem α dopadá na CCD snímač. Měření úhlu je nahrazeno měřením zpoždění odraženého paprsku od základní roviny. Známe tedy vzdálenost „a“ a všechny úhly trojúhelníka. Podle sinové věty dopočítáme vzdálenost „d“.

$$\frac{d}{\sin(\alpha)} = \frac{a}{\sin(\gamma)} \quad (9.1)$$

kde

$$\gamma = 180 - (90 + \alpha)$$



Obr. 9.1 Princip triangulace

9.1.2 Technické údaje senzoru optoNCDT-1800-10.

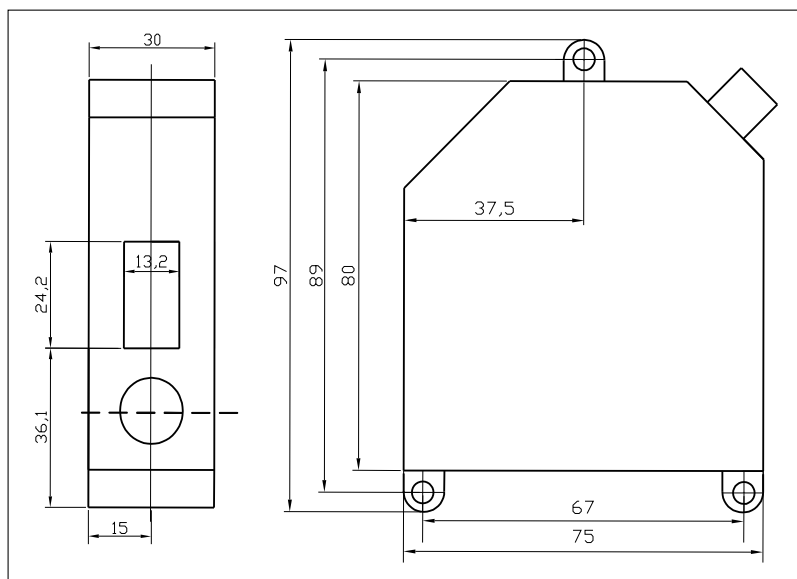
V tabulce 9.1 jsou uvedeny základní parametry. Podrobný popis všech parametrů je v příloze B.

princip měření	laserový optický, triangulace
měřicí rozsah	10 mm
referenční vzdálenost (střed rozsahu)	35 mm
linearita	+/- 0,08% z měřicího rozsahu (ZMR)
rozlišení při 5kHz 0,02% ZMR	2 μ m
vzorkovací rychlost	5 kHz
průměr světelného bodu	
- začátek rozsahu měření	70 μ m
- konec rozsahu měření	620 μ m
výstup - standardní	+/- 5 V
- volitelný	RS - 232

Tab. 9.1 Parametry senzoru optoNCDT 1800-10

9.1.3 Rozměry senzoru

Na obr. 9.2 jsou zakresleny rozměry senzoru.



Obr. 9.2. Rozměry senzoru

9.2 Lineární pohon T-LSR150D

Lineární pohon firmy Zaber technologies zajišťuje pohyb senzorů nad kotoučem. Jak bylo uvedeno výše, byl vznesen požadavek na možnost měřit kotouče až do průměru 320 mm. Tomu musel být přizpůsoben výběr pohonu. Potřebná délka byla vypočítána ze vztahu

$$l = \frac{d_k}{2} - \frac{d_s}{2} + d_m = \frac{320}{2} - \frac{100}{2} + 30 = 140[mm] \quad (9.2)$$

d_k ... vnější průměr největšího kotouče

d_s ... vnější průměr svislé části nejmenšího kotouče

d_m ... manipulační prostor

Tomuto požadavku vyhovuje pohon od firmy Zaber - T-LSR150D s pracovním rozsahem 150 mm.

9.2.1 Popis lineárního pohonu

Tento lineární pohon je určen pro aplikaci v laserových měřeních, kde je vyžadována vysoká přesnost.

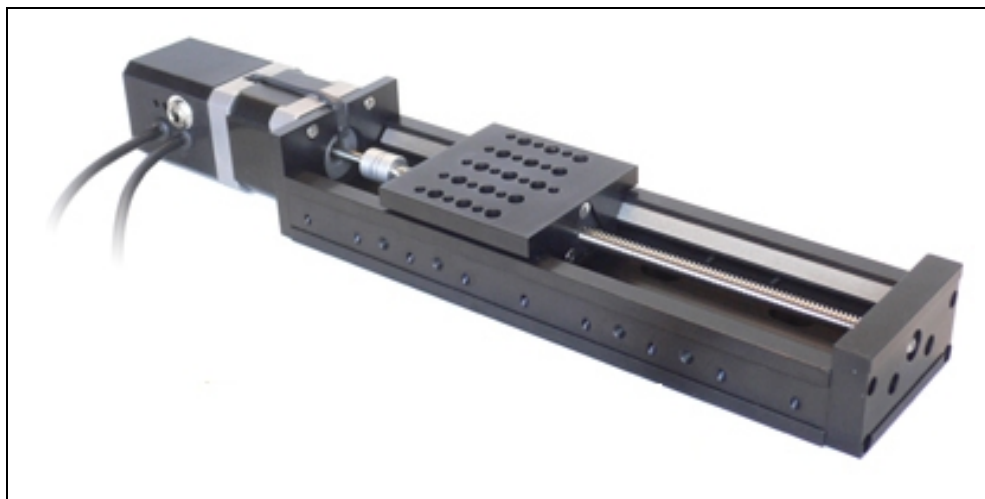
Jako hnací prvek slouží krokový motor s 200 kroky na otáčku, řízený kontrolérem s rozlišením 1/64 kroku. K němu je připojena hřídel s jemným závitem, která unáší montážní desku. Ta se pohybuje po válečkových ložiskách.

9.2.2 Ovládání pohonu

Pohon je možno ovládat přímo přes rozhraní RS – 232 nebo pomocí redukce RS – 232 - USB, kterou dodává výrobce.

Nastavení komunikace s pohonem je následující : rychlost – 9600 kb/s, počet datových bitů – 8, stop bity – 1, parita ne.

Jeden ovládací příkaz obsahuje 6 bytů. V prvním bytu je číslo zařízení, ve druhém číslo příkazu a poslední 4 jsou číslo ve formátu long integer. Interpretace tohoto čísla závisí na typu příkazu.



Obr. 9.3 - Lineární pohon T-LSR150D

9.2.3 Technické údaje lineárního pohonu

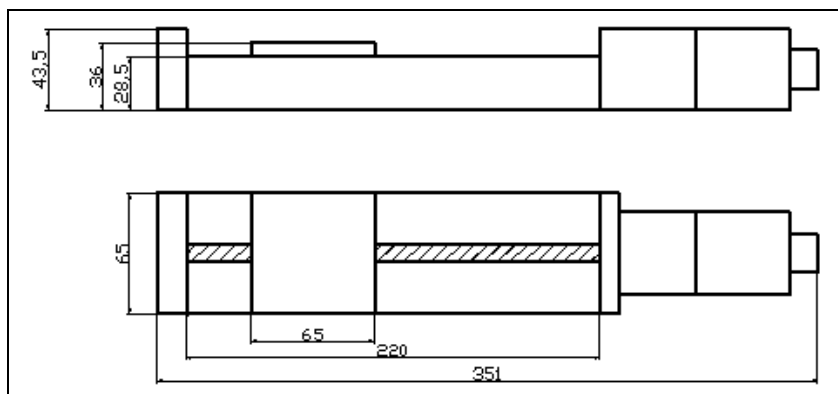
V tabulce 9.2 jsou uvedeny základní parametry. Podrobný popis všech parametrů je v příloze C.

rozsah	150 mm
nejmenší krok	1.984 μm
přesnost	< 45 μm
opakovatelnost	< 3 μm
vůle	< 20 μm
minimální rychlost	0,0186 mm/s
maximální rychlost	80 mm/s
maximální síla	40 N
maximální souvislá síla	40 N
maximální zatížení nosníku	200 N – cm
počet kroků motoru za otáčku	200
rozlišení kontroléru	1/64 kroku
koncové čidlo	magnetické
montážní rozhraní	díry se závitem M6 a 8 - 32

Tab. 9.2 – Parametry lineárního pohonu T-LSR-150D

9.2.4 Rozměry pohonu

Rozměry pohonu jsem zakresleny na obr 9.4.



Obr. 9.4 Rozměry lineárního pohonu

9.3 Senzor natočení 2REB

Ke každé změřené hodnotě je, kromě vzdálenosti od středu, třeba znát i příslušný úhel natočení. Tak získáme dostatek informací pro vykreslení 3D modelu brzdového kotouče.

Použitý senzor firmy SCANCON na obr. 9.5 poskytuje ve standardním módu tři výstupní signály A, B a Z. Signál A je obdélník. Signál B je obdélník posunutý o $\frac{1}{4}$ periody z čehož se určuje směr otáčení. Signál Z signalizuje dokončení otočky.



Obr. 9.5 Senzor natočení 2REB

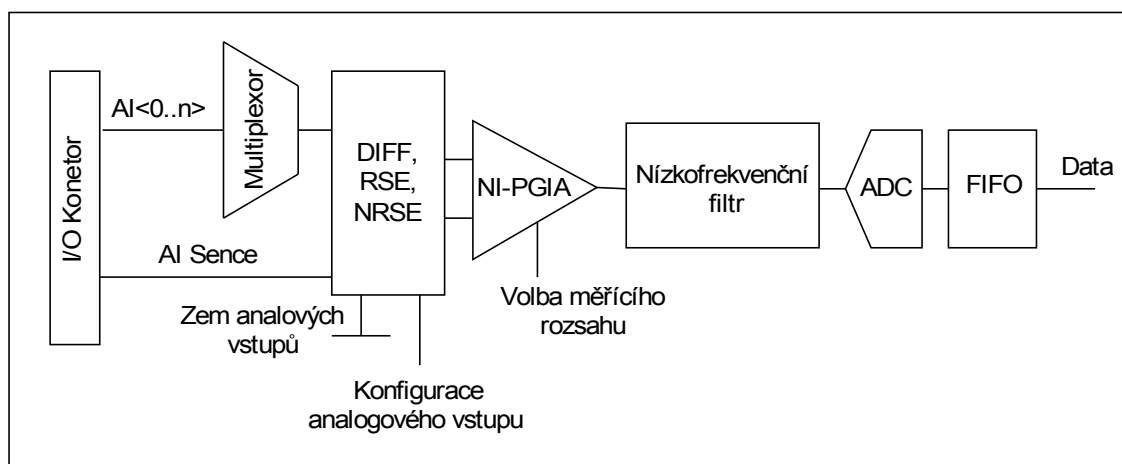
Senzor dává během jedné otáčky volitelně 4 – 7500 pulsů. Je konstruován na maximálně 9000 ot./min. nebo 200 kHz. Z toho vyplývá, že při maximálních otáčkách je rozlišitelnost max. 15 pulsů na otáčku a při nejvyšším rozlišení maximální otáčky 26 ot./s.

9.4 Měřicí karta

Použitá měřicí karta PCI-6229 z produkce firmy National Instruments vyhovuje požadovaným parametrům. S 16-ti bitovým převodníkem dosahuje karta na rozsahu ± 10 V rozlišení 300 μ V. V tabulce 9.3 jsou uvedeny základní parametry karty a na obrázku 9.6 je blokové schéma zapojení analogových vstupů.

analogové vstupy	32
rozlišení vstupů (bity)	16
digitální vstupy	48
vzorkovací frekvence	250 kS/s
rozhraní	PCI

Tab. 9.3 Parametry karty PCI-6229



Obr. 9.6 Zapojení analogových vstupů

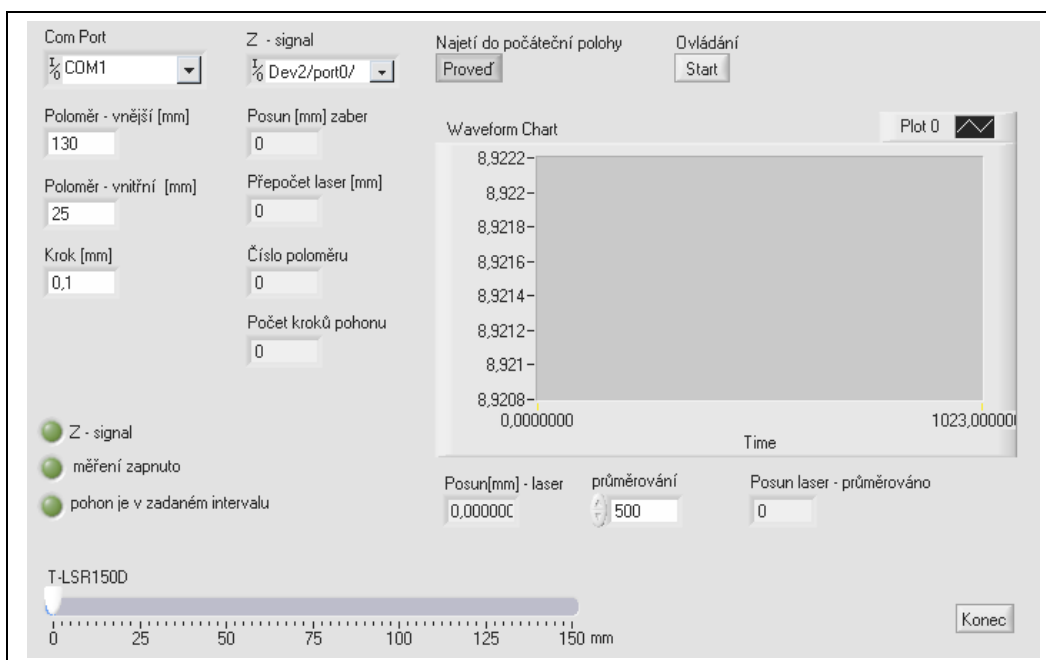
10 SOFTWAREVÁ ČÁST

10.1 Ovládací program

Zajišťuje polohování lineárního pohonu dle parametrů zadaných uživatelem. Po spuštění programu pohon najede do nulové polohy, aby se inicializovalo počítadlo kroků. Čítač v pohonu se po připojení k napájení nastavuje na koncovou polohu.

10.1.1 Popis předního panelu

Na obr. 10.1 je přední panel ovládacího programu rozšířeného o sběr dat ze senzoru vzdálenosti.



Obr. 10.1 přední panel ovládacího programu

Vlevo jsou umístěna pole pro zadávání vstupních údajů. V druhém sloupečku najdeme dialog pro výběr vstupu na který je připojen Z – signál senzoru natočení. Dále tu jsou informační pole o pozici pohonu, vzdálenosti měřené senzorem vzdálenosti, počtu provedených posuvů a informace o pozici pohonu vyjádřená počtem kroků servopohonu. V pravé části jsou tlačítka pro najetí do polohy začátku měření a tlačítko pro spuštění ovládání. Pod nimi je graf průběžně zobrazující rozdíl mezi hodnotou

posuvu udávanou lineárním pohonem a hodnotou ze senzoru posuvu. Pod grafem jsou umístěny pole ukazující výstupní napětí senzoru vzdálenosti a pole s volbou počtu vzorků pro průměrování. Nakonec zde najdeme LED diody indikující změny stavů při běhu programu.

10.1.2 Obsluha programu

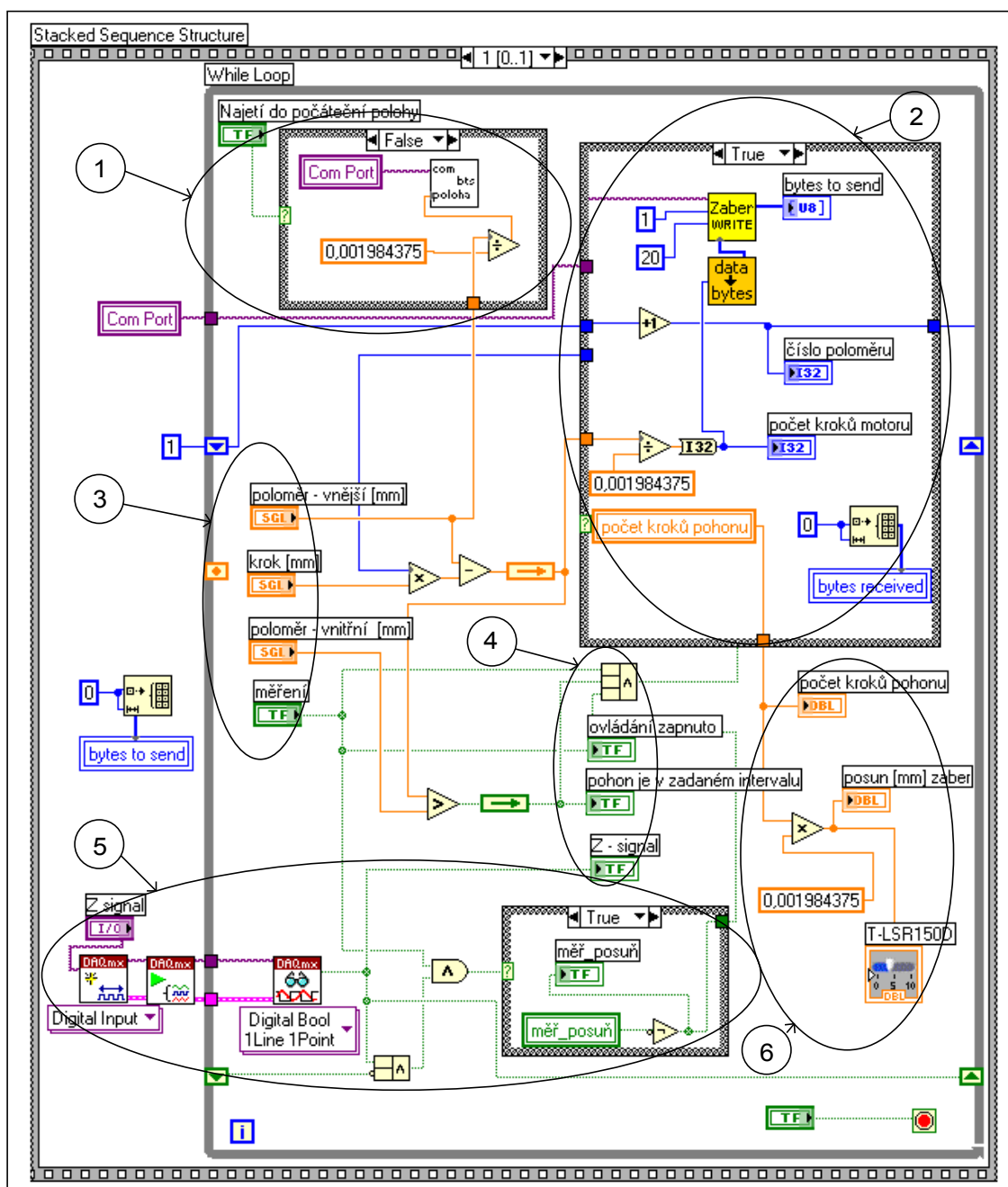
Uživatel vybere port, ke kterému je připojen lineární pohon. Vyplní pole pro zadání vnějšího a vnitřního poloměru měřené plochy a krok s jakým se má pohon pohybovat. Poté stiskne tlačítko „Najed’ do výchozí polohy“ tím se pohon nastaví na pozici začátku měření.

10.1.3 Popis blokového diagramu – ovládací část

Struktura programu je vidět na obr. 10.2. Vyobrazení programu bylo z důvodu přehlednosti popisu rozděleno na dvě části. Jednotlivé funkční bloky jsou zakroužkovány a označeny čísly.

- 1) Po stisku tlačítka „Najetí do počáteční polohy“ zajistí najetí lineárního pohonu do počáteční polohy, kterou je vnější poloměr kotouče. Této funkce je možno využít k libovolnému polohování nad povrchem kotouče.
- 2) Obsluhuje komunikaci mezi programem a lineárním pohonem. V případě splnění podmínky převádí číslo příkazu a velikost posuvu na šesti bytovou informaci a posílá ji po sériovém portu řídící jednotce pohonu. Při nesplnění podmínky čte data poslaná pohonem. Po dokončení posuvu pohonu je to informace o aktuální poloze.
- 3) Terminály pro zadávání vstupních údajů a spouštění ovládání.
- 4) Indikátory zapnutí ovládání, polohy posuvu a Z – signálu ze senzoru natočení. Po najetí pohonu na začátek měřené oblasti a spuštění ovládání mají první dva indikátory hodnotu TRUE. Všechny tři signály jsou připojeny do třívstupového hradla AND, takže v případě kdy Z-signál nabude hodnoty TRUE provede se blok programu popsáný v bodě 2.

- 5) Nastavení vstupního portu měřicí karty na čtení digitálního signálu. Sem je připojen Z – signál, ze kterého se z výše popsanych důvodů používá každý druhý pulz.
- 6) Terminály uchovávající informaci o absolutní poloze pohonu. Tato informace je na předním panelu zobrazena v mm, krocích a graficky.

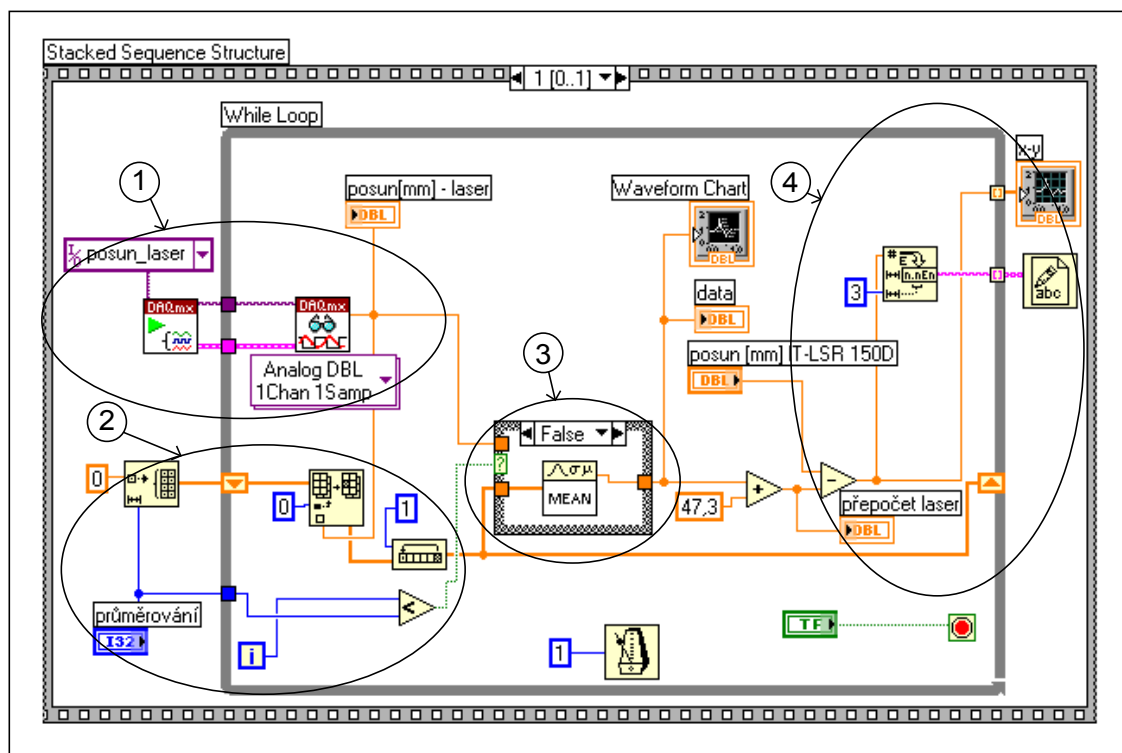


Obr. 10.2 Blokový diagram programu – ovládací část

10.1.4 Popis blokového diagramu – část pro sběr dat

Z důvodu ověření linearity a opakovatelnosti polohování byl ovládacího program rozšířen o část pro sběr dat. Viz. obr. 10.3.

- 1) Narozdíl od vytvoření kanálu v ovládacím programu byl tentokrát kanál definován v programu Measurement&Automation. Toto řešení umožňuje kalibrovat senzory a předzpracovat jejich výstupní signál podle potřeby.
- 2) Definování pole na průměrování měřených dat.
- 3) Podmínka v bodě 2) rozhoduje zda bylo od okamžiku spuštění programu získáno dostatek dat k průměrování.
- 4) Převod číselných hodnot na textové a zapsání do souboru pro další zpracování.



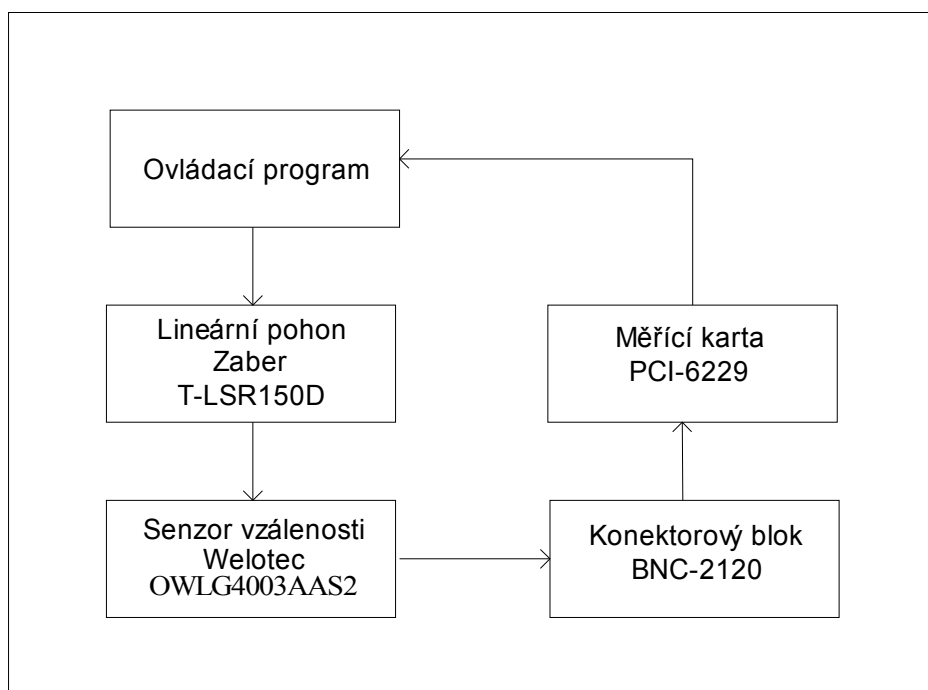
Obr. 10.3 Blokový diagram programu – část pro sběr dat

10.2 Měření přesnosti polohování lineárního pohonu

Při tomto měření bohužel nebyl k dispozici senzor, který by splňoval požadavek jak na přesnost tak na velikost měřicího rozsahu. Bylo nutné přejít ke kompromisu. V první

fázi byl použit odporový senzor TRS 100 od firmy Novotechnic s měřicím rozsahem 100 mm, přesností 0,1 mm, linearitou 0,075 % a opakovatelností měření s chybou $\pm 0,002$ mm. Vzhledem k velikosti nejmenšího kroku pohonu 0,002 mm byly získány užitečné informace pouze při měření chyby vznikající při opakovaném najíždění do koncových poloh. V tomto směru nebyly zjištěny žádné nedostatky.

Druhým použitým senzorem byl optoelektrický senzor firmy Welotec OWLG4003AAS2. Ten dosahuje rozlišení 2 – 5 μm , což odpovídá udávané přesnosti pohonu. Nevýhodou je měřicí rozsah 10 mm. Pro uchycení byl mírně upraven přípravek použitý u senzoru TRS 100. Zapojení měřicí soustavy je na obrázku 10.4.



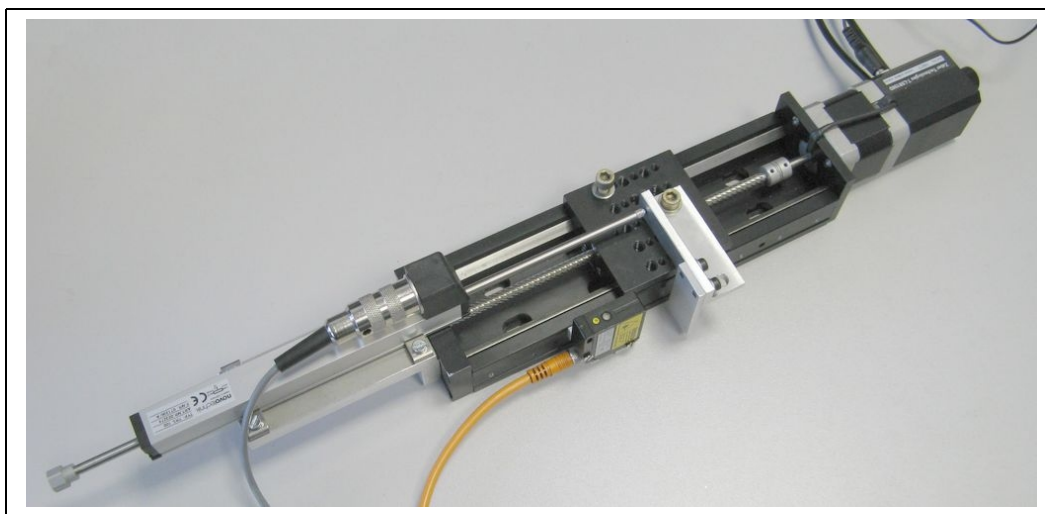
Obr. 10.4 Zapojení měřicí soustavy

Měření ověřilo linearitu a velikost mrtvého chodu lineárního pohonu v rozsahu 8 mm. K měření byl použit upravený ovládací program, přidáním části pro sběr a úpravu naměřených dat.

Postup měření byl následující. Pojezdem pohonu se zleva najelo na okraj měřicího rozsahu senzoru. Potom se pojezd posouval směrem doprava s krokem 2 mm. Po dosažení druhého okraje měřicího rozsahu se se stejným krokem pokračovalo zpět do výchozí polohy. Tento postup byl čtyřikrát zopakován.

Výstupní napětí senzoru vzdálenosti bylo silně zarušeno indukovaným napětím. Zlepšení bylo dosaženo výměnou spínaného napájecího zdroje XANTER XPD-18-30 za transformátorový GW, GPC-3030D. I přesto bylo nutno ke snížení rušení použít průměrování signálu. Aby bylo dosaženo snížení rušení pod úroveň rozlišení senzoru, bylo průměrováno posledních 500 hodnot.

Z důvodu konstrukčního uspořádání lineárního pohonu bylo měření provedeno ve vzdálenosti 66 – 74 mm od nulové polohy.



Obr. 10.5 Lineární pohon s připojenými senzory vzdálenosti

10.2.1 Mrtvý chod

Při vyhodnocování velikosti mrtvého chodu se od údaje o vzdálenosti ze senzoru vzdálenosti odečetla hodnota velikosti posuvu udávaná lineárním pohonem. Hodnota z lineárního pohonu musela být přepočítána tak, aby nebyly posunuty souřadné systémy.

$$d_l = 150 - d_{lp} - 74,663 \quad (10.1)$$

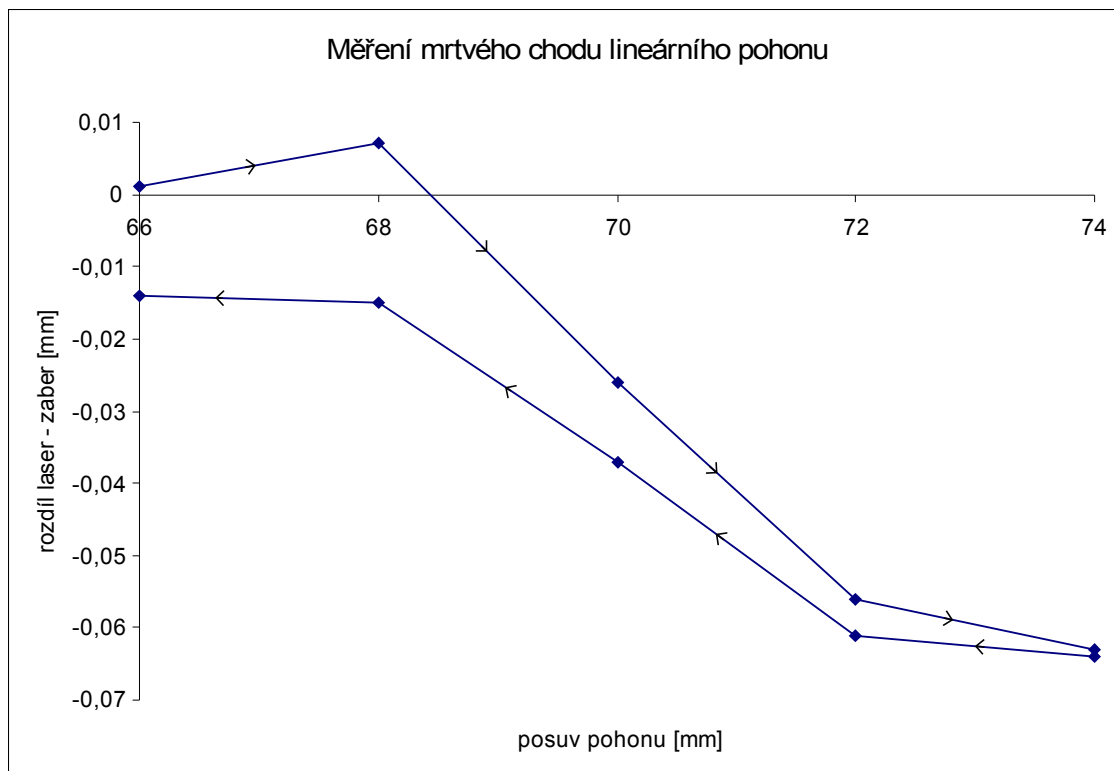
d_l ... hodnota vzdálenosti od senzoru vzdálenosti

150 ... délka dráhy lineárního pohonu [mm]

d_{lp} ... hodnota vzdálenosti udávaná lineárním pohonem

74,663 ... vzdálenost začátku měřicího rozsahu senzoru vzdálenosti od nulové polohy lineárního pohonu [mm]

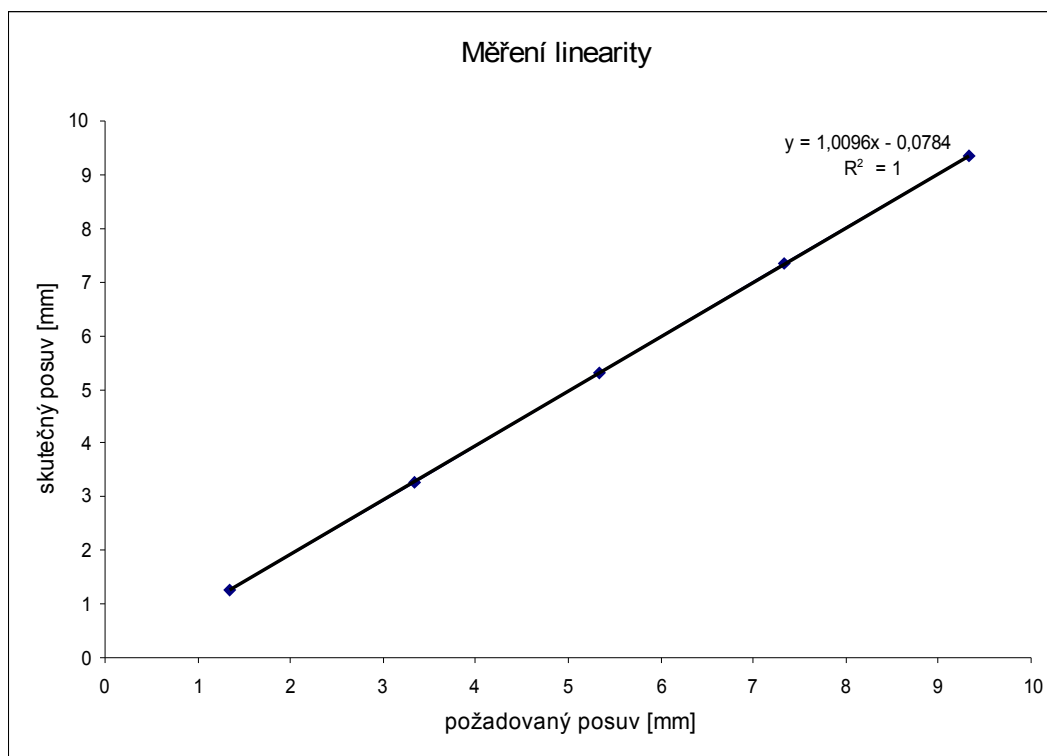
Jak ukazuje graf 10.1, mrtvý chod pohonu odpovídá údajům výrobce, který udává hodnotu $< 20 \mu\text{m}$. V našem případě byla tato vzdálenost $14 \mu\text{m}$.



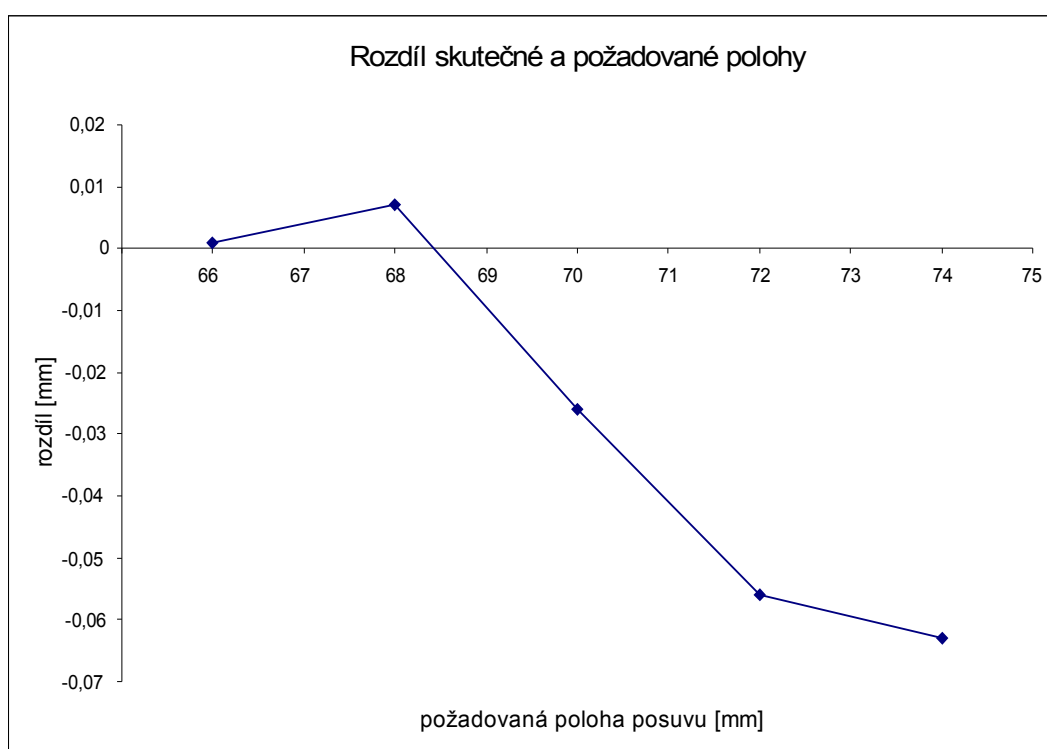
Graf. 10.1 Měření mrtvého chodu lineárního pohonu

10.2.2 Linearita

Linearita byla vyhodnocena ze stejných dat jako mrtvý chod. V grafu 10.2 je vynesena závislost skutečného posuvu na požadovaném. Rovnice lineární regrese ukazuje, že posuv není naprosto lineární. V grafu 10.3 je vidět rozdíl skutečné polohy a polohy žádané. Při posuvu po dráze 8 mm je maximální rozdíl $70 \mu\text{m}$.



Graf. 10.2 Měření linearity



Graf. 10.3 Rozdíl skutečné a požadované hodnoty

11 ZÁVĚR

V teoretické části byly popsány metody měření vzdálenosti a úhlového natočení. Dále byly naznačeny principy činnosti jednotlivých typů senzorů.

Na základě materiálů a konzultací poskytnutých firmou Lucas Autobrzdby bylo popsáno a zhodnoceno v současnosti používané zařízení na měření povrchu brzdových kotoučů.

Z těchto poznatků byly vyvozeny požadavky na nové zařízení, které by mělo splňovat technické nároky současnosti. Při rozvaze byly určeny základní komponenty nové koncepce.

V programovacím jazyce LabView byl vytvořen ovládací program pro polohování lineárního pohonu a sběr naměřených dat. V rámci možností byla měření ověřena linearita pohonu a velikost mrtvého chodu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody, Praha 1996,
ISBN 80-01-02057-6
- [2] Haasz, V., Sedláček, M.: Elektrická měření (Přístroje a metody)
ČVUT, Praha 2003, ISBN 80-01-02731-7
- [3] Kotoučová brzda
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kotou%C4%8Dov%C3%A1_brzda]
cit. 1.5.2008
- [4] rozhraní RS – 232
[<http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-232>]
cit. 4.4.2008
- [4] měřicí karta PCI-6229
[<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14136>]
cit. 2.4.2008
- [5] Lineární pohon T-LSR150D
[http://www.zaber.com/products/product_detail.php?detail=KT-LSR150D&tab=Detailed%20Specs]
cit. 3.4.2008
- [6] Senzor vzdálenosti
[<http://www.micro-epsilon.cz/cz/Sensors/Optical---Laser/>]
cit. 5.4.2008

OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Přiložené CD obsahuje tyto složky:

Diplomová práce

Tato diplomová práce ve formátu PDF

Obrázky – veškeré použité obrázky ve formátech JPG, GIF, PCX

Dokumentace

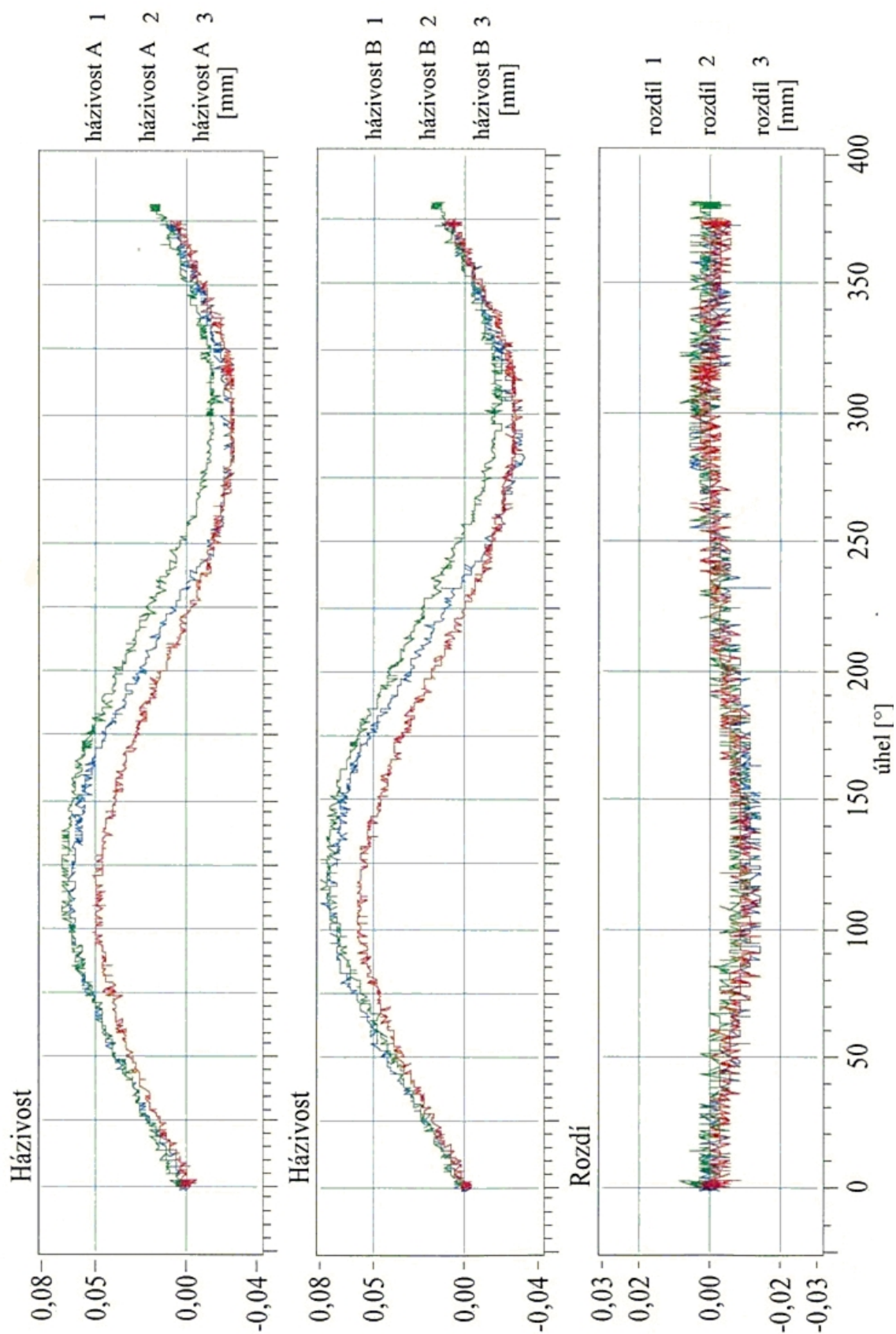
Dokumentace ke všem použitým komponentám ve formátu PDF a DOC

Projekty

LabView – ovládací program pro lineární pohon

PŘÍLOHY

A Zvlnění povrchu brzdového kotouče měřeno původní metodou



B Parametry optoelektronického senzoru OptoNCDT-1800-10

princip měření	laserový optický, triangulace
měřicí rozsah	10 mm
referenční vzdálenost (střed rozsahu)	35 mm
linearita	+/- 0,08% z měřicího rozsahu (ZMR)
rozlišení při 5kHz 0,02% ZMR	2 μ m
rozlišení průměr 4 0,01% ZMR	1 μ m
vzorkovací rychlost	5 kHz
světelný zdroj, vlnová délka	polovodičový laser 670 nm, červený
maximální výkon	1 mW
třída laseru	2
povolené okolní světlo	10 000 lx
průměr světelného bodu	
- začátek rozsahu měření	70 μ m
- střed rozsahu	320 μ m
- konec rozsahu měření	620 μ m
provozní teplota	0 až 50°C
dlouhodobá stabilita	0,05 % ZMR / měsíc
teplotní stabilita	0,01% ZMR / K
napájecí napětí	24 VDC (+/- 15%, max. 500 mA)
výstup	
- standardní	+/- 5V
- volitelný	RS 232
senzorový kabel	
- standardní	2 m – integrovaný
- volitelný	až 5/10 m – bez kalibrace
elektromagnetická kompatibilita (EMC)	EN 50081 – 1 a EN50082 – 2
vibrace	2 g / 20 .. 500 Hz
ráz	15 g / 6 ms

Specifické údaje platí pro matný bílý keramický povrch s rozptylným odrazem.

C Parametry lineárního pohonu T-LST150D

rozsah	150 mm
nejmenší krok	1.984 μm
přesnost	< 45 μm
opakovatelnost	< 3 μm
vůle	< 20 μm
minimální rychlost	0,0186 mm/s
maximální rychlost	80 mm/s
maximální síla	40 N
maximální souvislá síla	40 N
maximální zatížení nosníku	200 N – cm
typ vedení	válečková ložiska
souběžnost konstrukce	< 100 μm
počet kroků motoru za otáčku	200
rozlišení kontroléru	1/64 kroku
koncové čidlo	magnetické
mechanický řídicí systém	jemný závit
osy pohybu	1
montážní rozhraní	díry se závitem M6 a 8 - 32
provozní teplota	0 – 75° C